

การวิเคราะห์การระบายความร้อนสำหรับห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใต้ดิน

A Study of Heat Rejection for An Underground Power Generator Room

คำนำ

ระบบไฟฟ้าสำรองฉุกเฉินในอาคารถูกออกแบบให้มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟ ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองให้กับระบบช่วยชีวิต รวมถึงระบบการป้องกันและระบบอับคิกัย เมื่อระบบไฟฟ้าปกติขัดข้อง เช่นเดียวกับการออกแบบโรงพยาบาลแห่งหนึ่งของประเทศกาตาร์ ที่จัดให้มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองไว้ในห้องชั้นใต้ดิน ด้วยข้อจำกัดด้านการจัดพื้นที่ห้องเครื่อง ไม่ให้มีผลกระทบกับรูปลักษณ์ของอาคาร และเสียงรบกวนจากการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกันกับการจัดวางห้องเครื่องของอาคารสูงทั่วไป

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงพยาบาล เป็นเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ มีโอกาสที่จะทำงานพร้อมกันถึง 4 เครื่อง และมีภาระการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง การทำงานของเครื่องยนต์จะปล่อยพลังงานความร้อนออกมาปริมาณมาก จึงต้องมีการระบายอากาศที่เพียงพอ เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิภายในห้อง ด้วยสาเหตุจากปัจจัยเสี่ยงด้านสภาวะอากาศของประเทศ ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงถึง 45 องศาเซลเซียส และลักษณะของห้องเป็นผนังทึบที่มีช่องเจาะติดตั้งแผงดูดซับเสียง ทำให้มีพื้นที่อากาศเข้าน้อยลง

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทของอากาศ เข้าสู่ภายในห้อง และอากาศที่ถูกบังคับไหลผ่านตัวเครื่องที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน เพื่อหาผลของอุณหภูมิอากาศโดยรอบตามหลักทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน และทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล โดยใช้โปรแกรม Solidworks and CosmosFlowwork (2004) ช่วยในการคำนวณ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของระบบ เพื่อปรับปรุงตามความเหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษา และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2. เพื่อเสนอแนวทางปรับปรุงแก้ไขการระบายความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ชั้นใต้ดิน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาวิเคราะห์กรณีศึกษาการระบายความร้อนภายในพื้นที่ห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในประเทศกาตาร์
2. ข้อมูลด้านปัจจัยต่าง ๆ เป็นไปตามการออกแบบห้องเครื่อง การเลือกเครื่องยนต์ อุณหภูมิแวดล้อมของโครงการต้นแบบ
3. การวิจัยใช้การวิเคราะห์จากการสร้างแบบจำลอง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SolidWorks 2004 และ CosmosFlowworks 2004

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบผลการถ่ายเทความร้อนของกรณีศึกษา
2. สามารถปรับปรุงปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อระบบ จากการวิเคราะห์ผลการคำนวณ
3. ระบบการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้บริการโรงพยาบาล
4. เป็นแนวทางในการออกแบบ และตรวจสอบระบบการถ่ายเทความร้อนหรือการระบายอากาศในห้องเครื่องอื่น ๆ ได้

การตรวจเอกสาร

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ชั้นใต้ดิน ได้ทำการวิจัยโดยอาศัยข้อมูล แนวคิด และทฤษฎี เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ และปรับปรุงงานวิจัยที่ได้รวบรวมไว้ดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล
2. ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน
3. หลักการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD)
4. Standard for Health Care Facilities (NFPA 99)
5. Life Safety Code (NFPA 101)
6. Standard for Emergency and Standby Power System (NFPA 110)
7. มาตรฐาน และข้อกำหนดของผลกระทบด้านความร้อน
8. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
9. การระบายอากาศในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
10. โปรแกรมช่วยการคำนวณ และวิเคราะห์
11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล

1. นิยาม

ของไหล หมายถึงสสารที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องเมื่อมีแรงเฉือนมากระทำ ถึงแม้จะมีแรงเฉือนเพียงเล็กน้อยก็ตาม เช่น ของเหลว หรือก๊าซ

เมื่อของไหลไหลผ่านพื้นที่ผิวสัมผัสจะเกิดความเค้นเฉือน ดังสมการความหนืดของนิวตัน คือ

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dz} \quad (1)$$

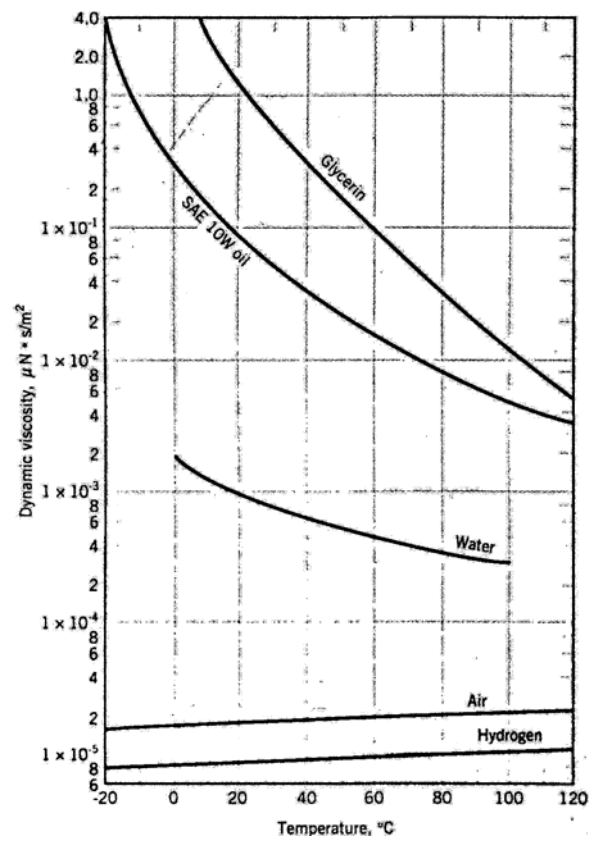
โดยที่	τ	=	ความเค้นเฉือน (N/m ²)
	F	=	แรงเฉือน (N)
	A	=	พื้นที่ผิวสัมผัส (m ²)
	μ	=	สัมประสิทธิ์ของความหนืด
	$\frac{du}{dz}$	=	ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงต่อระยะทาง (m/s ²)

ของไหลที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเรียกว่าของไหลนิวโตเนียน (Newtonian Fluid)

การกำหนดความหนืดของของไหลในรูปของความหนืดต่อความหนาแน่นคือ

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

โดยที่	ν	=	ความหนืดจลน์ศาสตร์ของของไหล (Kinematic Viscosity) (N-s/m ²)
	ρ	=	ความหนาแน่นของของไหล มาจากมวลต่อปริมาตร(Kg/m ³)



ภาพที่ 1 ภาพแสดงกราฟความหนืดของของไหล

ที่มา: เสรี (2548)

2. คุณสมบัติของของไหล

ของไหลที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียงมาก จะมีการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นน้อย หรืออาจกำหนดเป็นค่าคงตัวได้ ของไหลที่มีความเร็วต่ำเรียกว่า การไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow) จากสมการสถานะของอุณหพลศาสตร์สามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นในระบบอุณหภูมิกงที่ได้คือ

$$\Delta \rho = \frac{\Delta P}{RT} \quad (3)$$

โดยที่	$\Delta\rho$	=	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น (kg/m ³)
	ΔP	=	การเปลี่ยนแปลงความดัน (N/m ²)
	R	=	ค่าคงตัวของก๊าซ (kJ/kmol-K)
	T	=	อุณหภูมิ (K)

การเปลี่ยนแปลงของความดัน เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์ เช่น หากทำของไหลที่มีความเร็วสูงให้มีความเร็วลดลง พลังงานจลน์จะถูกถ่ายโอนไปสะสมไว้ในรูปของความดันซึ่งเป็นพลังงานศักย์ชนิดหนึ่ง ดังนั้นตามกฎอนุรักษ์พลังงาน สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเร็วได้ว่า

$$\Delta P = \rho \Delta(U^2 / 2) \quad (4)$$

โดยที่	U	=	ความเร็ว (m/s)
--------	-----	---	----------------

3. ความเร็วและอัตราการไหล

ความเร็วของการไหล คือระยะทางที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปในหนึ่งหน่วยเวลา

อัตราการไหล คือ ปริมาณของของไหลที่เคลื่อนที่ไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรืออาจเป็นมวลหรือน้ำหนักของของไหลที่ไหลไปในหนึ่งหน่วยเวลาก็ได้

$$q = \int_A u dA = UA \quad (5)$$

โดยที่	q	=	อัตราการไหล (m ³ /s)
	U	=	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m ²)
	μ	=	ความเร็วการไหลของอนุภาค (m/s)

สมการ (5) ไม่คิดความหนาแน่นของของไหล เพราะมีค่าคงที่เป็นของไหลที่ไม่อัดตัว

สมการอนุรักษ์การไหล

$$q = A_1 U_1 = A_2 U_2 \quad (6)$$

ปริมาตรควบคุม คือ ขอบเขตปริมาตรที่กำหนดขึ้นในสนามการไหล เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติการไหล

อัตราส่วนความเร็วของการไหลต่อความเร็วเสียง เรียกว่าตัวเลขมัค (Mach number) ซึ่งแบ่งได้ตามประเภทของการไหลคือ

Subsonic flow	$M < 1$
Sonic flow	$M = 1$
Supersonic flow	$M > 1$
Hypersonic flow	$M \gg 1$

ค่าคงที่ที่แสดงลักษณะและความสัมพันธ์ของการไหล คือค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds number) เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยกับแรงหนืด

$$R_e = \frac{u_\infty L}{\nu} \quad (7)$$

โดยที่	R_e	=	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (ไร้มิติ)
	u_∞	=	ความเร็วของกระแสอิสระ (m/s)
	ν	=	ความหนืดจลนศาสตร์ของของไหล (N-s/m ²)
	L	=	ระยะใดๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการไหล (m)

ค่าคาวิตีชันนัมเบอร์ (Cavitation number or Euler number) คือ อัตราส่วนระหว่างความดันกับแรงเฉื่อย ซึ่งเป็นการไหลที่มีความแตกต่างของความดันเป็นสำคัญ เช่น การไหลที่เกิดโพรงไอ

$$C_a = \frac{P - P_v}{\rho U^2} \quad (8)$$

โดยที่ C_a = ค่าคาวิตีชันนัมเบอร์ (ไร้มิติ)
 P = ความดัน (N/m^2)
 P_v = ความดันสมบูรณ์ (N/m^2)
 ρ = ความหนาแน่น (Kg/m^3)
 U = ความเร็ว (m/s)

สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการไหลจากสมการอนุรักษ์มวล และสมการอนุรักษ์พลังงาน คือ

$$Q = \rho q C_p \Delta T \quad (9)$$

โดยที่ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ/s)
 ρ = ความหนาแน่น (Kg/m^3)
 q = อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)
 C_p = ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg-K)
 ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (K)

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

ทฤษฎีเรื่องการถ่ายเทความร้อนมีทั้งสิ้น 3 แบบ ได้แก่ การนำความร้อน การแผ่รังสีความร้อน และการพาความร้อน

1. การนำความร้อน

การนำความร้อน หมายถึง การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยส่งถ่ายความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่งอย่างต่อเนื่องกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลวและ ก๊าซ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบ การ นำความร้อน คำนวณจากกฎของฟูเรียร์ (Fouries's law) คือ อัตราการไหลของความร้อน โดยการนำในทิศทางที่กำหนด จะเป็นสัดส่วนของอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับระยะทาง

$$Q_x = kA \frac{\Delta T}{L_x} \quad (10)$$

โดยที่	Q_x	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง (W)
	k	=	ค่าการนำความร้อนของตัวกลาง (W/m-K)
	A	=	พื้นที่ของตัวกลางที่ตั้งฉากกับทิศทางไหล (m^2)
	ΔT	=	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (K)
	L_x	=	ความหนาของตัวกลางตามทิศทางการไหลของความร้อน (m)

2. การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนจากผิวตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกผิวตัวกลางหนึ่ง ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกัน พลังงานของการแผ่รังสีจะถูกส่งถ่ายในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือในรูปของโฟตอนโดยไม่ต้องอาศัยวัสดุตัวกลาง

รังสีความร้อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางหนึ่ง ๆ จะมีค่าลดลงเนื่องจากถูกดูดกลืนเอาไว้ ในขณะที่รังสีที่ผ่านเข้าไปยังสุญญากาศจะไม่ถูกดูดกลืน ในทางปฏิบัติอาจถือว่ารังสีที่ผ่านบรรยากาศ จะไม่ถูกดูดกลืนได้เลย เพราะการดูดกลืนรังสีในอากาศมีค่าน้อยมาก

การคำนวณหาการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุสองชิ้นที่มีอุณหภูมิต่างกันจากกฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann)

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (11)$$

โดยที่	Q_{rad}	=	อัตราการแผ่รังสีความร้อน (W)
	ε	=	ค่าการเปล่งรังสีความร้อนของพื้นผิว (Emissivity)
	σ	=	ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ = 5.67×10^{-8} (W/m. ² K ⁴)
	A	=	พื้นที่ผิวของการแผ่รังสี (m ²)
	T_s	=	อุณหภูมิผิวที่แผ่รังสี (K)
	T_{sur}	=	อุณหภูมิผิวของสิ่งแวดล้อมโดยรวม (K)

3. การพาความร้อน

การพาความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหล ผลการเคลื่อนไหวยังของของไหลส่งผลให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของแข็งนั้น พลังงานความร้อนที่ถูกโอนถ่ายเป็นผลมาจากการแพร่ของโมเลกุล (Diffusion) และผลจากการเคลื่อนไหวยังไปทั้งปริมาตรของของไหล การพาความร้อนจำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือ

3.1 การพาความร้อนตามธรรมชาติ คือ การเคลื่อนไหวยังของของไหลจากผลของแรงลอยตัวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นที่ความแตกต่างของอุณหภูมิของไหลในสองบริเวณ

3.2 การพาความร้อนโดยการบังคับ คือ การเคลื่อนไหวยังของของไหล ที่เป็นผลมาจากแรงกระทำจากภายนอก เช่น เครื่องสูบลม และเครื่องเป่าลม เป็นต้น

3.3 การวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนโดยการพา เป็นปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อน เพราะการเคลื่อนไหวยังของของไหลมีผลต่อ 3 ปัจจัยคือ

3.3.1 ความดันลด

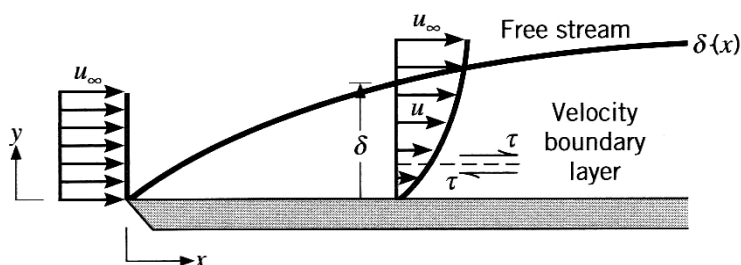
3.3.2 แรงหน่วง

3.3.3 การถ่ายเทความร้อน

การหาแรงหน่วงและความดันลด จะคำนวณได้จากสนามความเร็ว ในบริเวณใกล้เคียงกับผิววัตถุ และการหาค่าการถ่ายเทความร้อนจะต้องทราบการกระจายความเร็วของของไหลในการไหลผ่านวัตถุ เพราะความเร็วมีผลในสมการพลังงาน และสมการพลังงานมาจากการกระจายอุณหภูมิในสนามการไหล

การไหลผ่านผิวภายนอกวัตถุจะมีการกระจายความเร็ว และการกระจายอุณหภูมิ บริเวณใกล้กับผิวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน เรียกว่า ชั้นขอบเขตความเร็ว และชั้นขอบเขตความร้อน

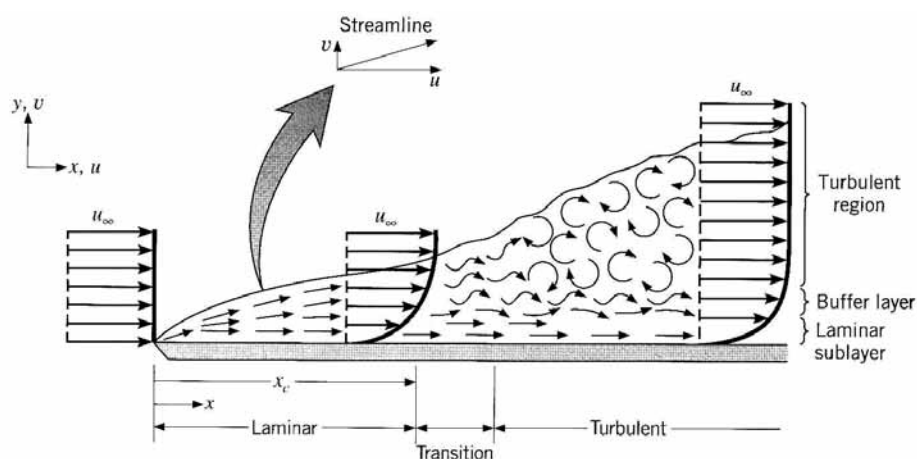
ก. ชั้นขอบเขตความเร็ว (The velocity boundary layer) ของไหลที่จุดเริ่มต้นของขอบนำของการไหลบนแผ่นราบ จะมีความเร็วเป็นอิสระ (u_∞) มีทิศขนานกับแผ่นราบ เมื่อของไหลเคลื่อนที่ไปบนแผ่นราบแล้ว อนุภาคของของไหลที่สัมผัสกับผิวแผ่นราบจะมีความเร็วเป็นศูนย์ เพราะความหนืดของของไหลจะทำให้อนุภาคเกาะติดกับแผ่นราบ เป็นตัวหน่วงให้ของไหลที่อยู่ชั้นติดกันไหลช้าลง ความหน่วงจะลดลงตามระยะที่ห่างจากแผ่นราบจนถึงชั้นขอบเขตความเร็ว ($\delta(x)$) ซึ่งความเร็วจะมีค่าใกล้กับความเร็วอิสระ



ภาพที่ 2 พัฒนาการของชั้นขอบเขตความเร็วบนแผ่นราบ

ที่มา: Frank (2002)

การไหลในชั้นขอบเขตความเร็ว ยังแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น คือ ชั้นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) ชั้นทรานซิชัน (Transition) และชั้นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) ดังภาพที่ 3 ในชั้นขอบเขตที่มีการไหลแบบปั่นป่วน จะทำให้การส่งถ่ายโมเมนตัมและพลังงานเพิ่มมากขึ้นกว่าในชั้นขอบเขตการไหลแบบราบเรียบ



ภาพที่ 3 พัฒนาการของชั้นขอบเขตความเร็วของการไหลแบบราบเรียบและปั่นป่วน

ที่มา: Frank (2002)

การเคลื่อนที่แบบราบเรียบบนแผ่นราบจนถึงระยะทางวิกฤต (X_c) จะมีค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์วิกฤต ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลแบบราบเรียบไปสู่การไหลแบบปั่นป่วน คือ

$$\text{Re}_c = \frac{U_\infty X_c}{\nu} \approx 5 \times 10^5 \quad (12)$$

โดยที่ ν = ความหนืดจลนศาสตร์ของของไหล (N-s/m^2)

ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์จะขึ้นอยู่กับความหยาบของผิว และความปั่นป่วนของกระแสน้ำ เช่น ถ้ามีความปั่นป่วนมาก ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์อาจต่ำกว่า 10^5 แต่ถ้าการไหลไม่ถูกรบกวนเลยค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์อาจมีค่า 10^6 ขึ้นไป

ข. แรงหน่วง การหาแรงหน่วง จะต้องทราบความเร็วเชิงแกน ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เชิงหน่วง ความหนาแน่นของของไหล เช่น แรงหน่วง ที่กระทำต่อแผ่นราบจากระยะ $X = 0$ ถึง $X = L$ คือ

$$F = wLC_m \frac{\rho u_\infty^2}{2} \quad (13)$$

โดยที่ F = แรงหน่วงที่กระทำบนแผ่นราบ (N)

L = ระยะทางตามแนวแรง (m)

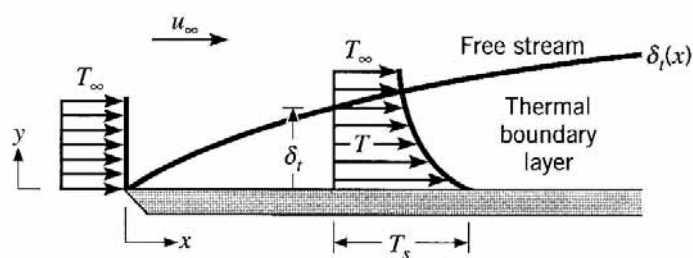
C_m = ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เชิงหน่วง

w = ความกว้างบนแผ่นราบที่มีแรงมากระทำ (m)

ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

u_∞ = ความเร็วอิสระ (m/s)

ค. ชั้นขอบเขตความร้อน เมื่อของไหลไหลไปบนแผ่นราบ และมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกันจะเกิดเป็นชั้นขอบเขตของความร้อน ($\delta_t(x)$) ดังภาพที่ 4 T_s เป็นอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นราบ และ T_∞ เป็นอุณหภูมิของไหล



ภาพที่ 4 พัฒนาการของชั้นขอบเขตความร้อนบนแผ่นราบที่มีอุณหภูมิกิ่งที่

ที่มา: Frank (2002)

พิจารณาการพาความร้อนจากพื้นที่ผิวของแข็ง ที่มีอุณหภูมิผิว T_s ขณะที่ผิวของไหลไหลผ่าน และอุณหภูมิของไหลคงที่ อัตราการพาความร้อนหาตามกฎการทำให้เย็นตัวของนิวตัน (Newton's Law of Cooling) คือ

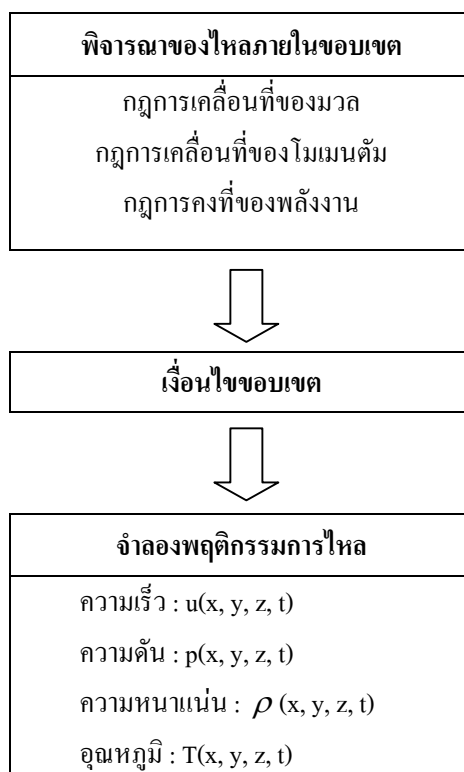
$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (14)$$

โดยที่	Q_{conv}	=	อัตราการพาความร้อน (W)
	h	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)
	A_s	=	พื้นที่ผิวของแข็ง (m^2)
	T_s	=	อุณหภูมิที่ผิวของแข็ง (K)
	T_∞	=	อุณหภูมิของไหลที่ไหลผ่านผิวของแข็ง (K)

หลักการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) คือการคำนวณวิเคราะห์ การไหลของของไหล การถ่ายเทความร้อน และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี พฤติกรรมการไหลสามารถอธิบายได้ด้วยความเร็ว และคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ต่อเนื่องของเวลา และมีมิติ การใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณจำลองสถานการณ์จะมีผลลัพธ์ที่สนใจเป็นส่วนใหญ่ คือ ความเร็ว, ความดัน และอุณหภูมิ

การคำนวณด้วย CFD มีพื้นฐานมาจาก Finite difference methods (FDM), Finite element methods (FEM) และ Finite volume methods (FVM)



ภาพที่ 5 ลำดับการทำงาน การคำนวณพลศาสตร์ของไหล

ที่มา: เสรี (2548)

1. การทำงานของโปรแกรม

แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1.1 Pre-processor คือ ขั้นตอนการใส่ข้อมูลของปัญหาได้แก่

1.1.1 การใส่ขอบเขตทางกายภาพที่จะวิเคราะห์

1.1.2 ความละเอียดของการวิเคราะห์โดยการตั้งค่า Grid หรือ Mesh

1.1.3 เลือกประเภทของการวิเคราะห์ หรือเป้าหมายที่สนใจ

1.1.4 ใส่ข้อมูลของของไหล

1.1.5 กำหนดช่องเปิดต่าง ๆ ที่มีอยู่บนขอบเขตการวิเคราะห์

1.2 Solver คือ ขั้นตอนการคำนวณเชิงตัวเลขของโปรแกรม

1.2.1 การประมาณค่าการไหลของสิ่งที่ศึกษา จากค่าเฉลี่ยของสมการความสัมพันธ์พื้นฐาน

1.2.2 แบ่งการคำนวณออกเป็นช่วง ๆ ของการไหล แล้วจึงนำมาจัดเรียงความต่อเนื่องอีกครั้ง

1.2.3 การคำนวณปัญหาโดยใช้สมการทางพีชคณิต

1.3 Post-processor คือ การแสดงผลภายหลังจากการคำนวณ โดยทั่วไป CFD จะมีรูปแบบการแสดงผลที่ง่ายต่อการเข้าใจ และอ่านผลได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งได้แก่

1.3.1 แสดงขอบเขตทางกายภาพและ Grid ที่ใช้ในการคำนวณ

1.3.2 แสดงทิศทางการไหล

1.3.3 แสดงการไหลในรูปแบบของเส้นและเฉดสี

1.3.4 แสดงเป็น 2D และ 3D ได้

1.3.5 แสดงภาพขยายในส่วนที่ต้องการ สามารถดูภาพได้ทุกด้านทุกมุม

1.3.6 คัดลอกภาพผลการคำนวณลงบนโปรแกรมอื่น ๆ ได้

2. กฎการอนุรักษ์การไหลของของไหล

สมการที่เกี่ยวข้องกับเรื่องการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนมาจากกฎการอนุรักษ์ทางฟิสิกส์ ได้แก่

กฎอนุรักษ์มวล “อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลในปริมาตรควบคุม เท่ากับอัตราสุทธิของการไหลเข้าปริมาตรควบคุมนั้น”

กฎอนุรักษ์โมเมนตัม “อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม เท่ากับผลรวมของแรงบนอนุภาคของของไหล”

กฎอนุรักษ์พลังงาน “อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน เท่ากับผลรวมของความร้อนที่ถ่ายเทสู่ของไหล และงานที่เกิดขึ้นจากอนุภาคของไหล” ซึ่งแสดงเป็นรูปแบบสมการได้ดังต่อไปนี้

2.1 สมการอนุรักษ์มวลของการวิเคราะห์แบบสามมิติ

2.1.1 ของไหลที่สามารถอัดตัวได้ (Compressible fluid)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (15)$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นของของไหล (Kg/m^3)

t = ระยะเวลา (sec)

u, v, w = ความเร็ว (m/s) ตามแนวแกน x, y, z ตามลำดับ

2.1.2 ของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible fluid) ความหนาแน่นของของไหลที่อัดตัวไม่ได้จะมีค่าคงที่ ดังนั้นเทอมที่เปลี่ยนแปลงคือความเร็ว

$$\frac{\partial(u)}{\partial x} + \frac{\partial(v)}{\partial y} + \frac{\partial(w)}{\partial z} = 0 \quad (16)$$

2.2 สมการโมเมนตัมของการวิเคราะห์แบบสามมิติ

แรงที่กระทำต่ออนุภาคของไหล แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.2.1 แรงที่กระทำต่อพื้นผิว ได้แก่ ความดัน และความหนืด

2.2.2 แรงที่เกิดจากลักษณะทางกายภาพของของไหลเอง ได้แก่ แรงดึงดูดของโลก, แรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลาง และแรงจากการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า

สมการโมเมนตัม จากแรงในแนวแกน X

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(\tau_{zx})}{\partial z} + S_{Mx} \quad (17)$$

โดยที่ p = ความดันในแนวแกน X (N/m^2)

τ = แรงเฉือนที่เกิดจากความหนืด (N/m^2)

S_M = แรงที่เกิดจากลักษณะทางกายภาพของของไหล (Per Unit)

สมการโมเมนตัมจากแรงในแนวแกน Y และแนวแกน Z ก็จะคำนวณในลักษณะเดียวกันกับแรงในแนวแกน X

2.3 สมการอนุรักษ์พลังงานของการวิเคราะห์แบบสามมิติ

$$\begin{aligned} \rho \frac{DE}{Dt} = & -\text{div}(pu) + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} \right. \\ & \left. + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + \text{div}(k \text{ grad}T) + S_E \end{aligned} \quad (18)$$

โดยที่ E = พลังงาน (W)

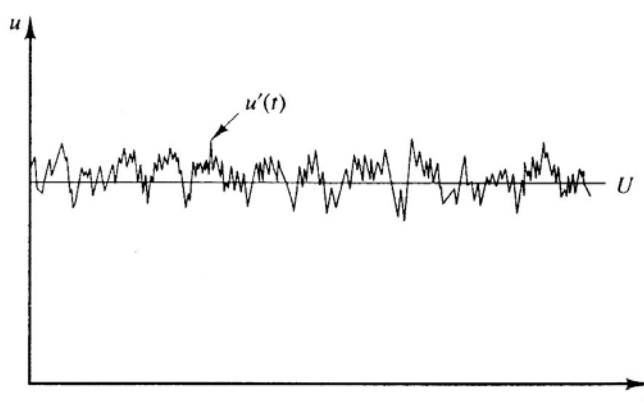
$div(k gradT)$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังอนุภาคของไหล (W)

S_E = แหล่งกำเนิดพลังงาน (Per Unit)

3. การคำนวณที่ขึ้นกับลักษณะการไหล

การไหลของของไหลในชั้นขอบเขตการไหลที่มีค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ต่ำกว่าค่าวิกฤต การไหลจะเป็นไปอย่างราบเรียบ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา จึงเรียกว่าเป็นการไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow)

การไหลแบบปั่นป่วนที่มีค่า เรย์โนลด์ นัมเบอร์ สูงกว่าค่าวิกฤตมีการเคลื่อนไหลไม่คงที่ เปลี่ยนรูปแบบและความเร็วไปตามช่วงเวลาเช่นตัวอย่างในภาพที่ 6 เรียกว่าการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Turbulent flow)



ภาพที่ 6 ภาพแสดงความเร็วของของไหลที่วัดได้จากการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์

ที่มา: Versteeg (1995)

3.1 รูปแบบของไหลวนของการไหลแบบปั่นป่วนแบ่งเป็นสองลักษณะ คือ

3.1.1 การไหลวนที่มีรัศมีกว้าง จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในแนวทางเดียวกัน และถ่ายเทพลังงานได้ดี (Directional flow)

3.1.2 การไหลวนที่มีรัศมีแคบ จะมีค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ดสูงมาก และทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นไปในหลายทิศทาง (Non-directional flow)

3.2 ลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ

3.2.1 แบบอิสระ ได้แก่ การไหลแบบ Mixing layers, การไหลพุ่งออกจากท่อ (Jet) และการไหลที่แยกออกแบบร่องน้ำ (Wake)

3.2.2 แบบมีชั้นขอบเขตจำกัดของบริเวณที่ติดกับผิววัตถุ ได้แก่ การไหลในชั้นขอบเขตบนผิวแผ่นราบ และการไหลในท่อ

ตารางที่ 1 ระยะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน

Flow	Mixing length (l_m)	L
Mixing layer	0.07L	Layer width
Jet	0.09L	Jet half width
Wake	0.16L	Wake half width
Axisymmetric jet	0.075L	Jet half width
Pipe & channels	$L(0.14 - 0.08(1 - y/L)^2 - 0.06(1 - y/L)^4)$	Pipe radius, half channel

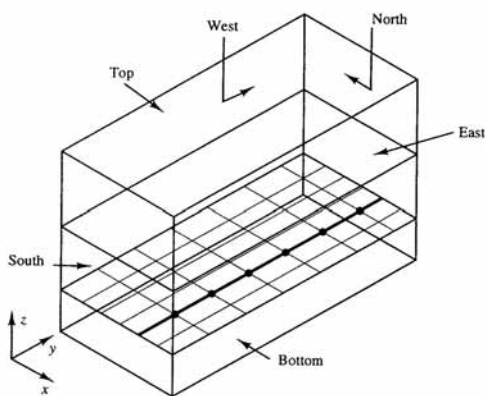
หมายเหตุ y คือ ระยะจากผนังขอบเขต

ที่มา: Versteeg (1995)

จากตารางที่ 1 จะเห็นความแตกต่างของลักษณะที่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน ได้อย่างชัดเจนในรูปของสัดส่วนความยาว l_m

4. รูปแบบการคำนวณความดัน และความเร็วในสถานะ **Steady flows**

จะเริ่มการคำนวณจากสมการ โมเมนตัม และกำหนดวิธีคำนวณแยกเป็นจุด หรือ โหนด โดยแบ่งตามเส้นตารางความละเอียด (Grids) บนผิว โหนด และจะคำนวณความเร็วและความดันที่เกิดขึ้นที่ละส่วน



ภาพที่ 7 ภาพแสดงรูปแบบ Grids ของการคำนวณแบบ 3 มิติที่ระนาบ X-Y

ที่มา: Versteeg (1995)

5. เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions)

อัตราการเพิ่มขึ้นของตัวแปรต่างๆต่อของไหล บวกกับ อัตราการถ่ายเทมวล, แรง, พลังงาน ออกจากของไหล เท่ากับ อัตราการเพิ่มขึ้นของมวล, แรง, พลังงาน ที่เกิดจากการถ่ายเท บวกกับ อัตราการเพิ่มขึ้นของตัวแปรจากแหล่งกำเนิด

5.1 หลักการใส่ข้อมูลเพื่อคำนวณ นำมาจากหลักการเงื่อนไขขอบเขตในข้างต้น ดังนั้น จึงควรกำหนดข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.1.1 ระบุคุณสมบัติที่เกี่ยวกับการกระจายตัวของตัวแปรต่าง ๆ ที่ช่องเปิดทางเข้าของของไหลสู่ขอบเขตการคำนวณ

5.1.2 ระบุแหล่งกำเนิดความดันอย่างน้อย 1 ตัวภายในขอบเขตการคำนวณ

5.1.3 ที่ช่องเปิดทางออกของการไหล ให้ตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ เริ่มต้นที่ศูนย์

5.1.4 ระบุคุณสมบัติของวัตถุและผนังต่าง ๆ ที่เป็นของแข็ง

5.2 ค่าเบื้องต้นที่ต้องทำการกำหนดให้กับโปรแกรม CFD เพื่อใช้ในการคำนวณตามวิธีของ Finite volume method คือ

5.2.1 ทางเข้าของของไหล ที่ทางเข้าของของไหล จะมีค่าความดันหนึ่ง ๆ ซึ่งโปรแกรมจะเรียกมาจากค่าที่ถูกกำหนดไว้จากสถานะแวดล้อมแรก แต่สามารถปรับค่าที่ตำแหน่งทางเข้าได้อีก ซึ่งต่างจากค่าคงที่พลังงานจลน์จากการไหลแบบปั่นป่วน และค่าคงที่อัตราการถ่ายเทพลังงานที่โปรแกรมจะทำการประมาณค่าที่เหมาะสมให้ที่ทางเข้านั้น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการไหลโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 1% ถึง 6% ตามความยาว และจะต่างจากค่าสถานะแรกที่กำหนดไว้

5.2.2 ทางออกของของไหล มีการกำหนดค่าเหมือนกับทางเข้า และมีตำแหน่งส่วนใหญ่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลซึ่งจะง่ายต่อการคำนวณความแปรปรวนหรือการเบี่ยงเบนของการไหล คือสามารถคิดเป็นศูนย์ได้ ยกเว้นในสถานะที่มีความดัน

5.2.3 ผนังขอบเขต เป็นส่วนที่สำคัญมากในการวิเคราะห์การไหล ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วของของไหลที่ใกล้กับผิวผนัง และเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของการไหลที่จุดเริ่มต้นขอบเขตใด ๆ จะเท่ากับศูนย์ และเมื่อคำนวณค่าความเร็วแล้วก็จะสามารถหาค่าความดันได้ต่อไป Pressure boundary condition ใช้สำหรับการกำหนดช่องเปิดที่ไม่ทราบค่าความเร็วหรืออัตราการไหล แต่ทราบค่าความดันของของไหล

5.2.4 สถานะของการไหลเป็นแบบคงที่หรือไม่

5.2.5 ระยะเวลา หรือสถานะที่สนใจ

Standard for Health Care Facilities (NFPA 99)

NFPA 99 เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการเตรียมงานระบบ เพื่อรองรับสถานพยาบาล สถานฟื้นฟูสุขภาพ หรือกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องกับการดูแลสุขภาพ และมาตรฐานได้กำหนดเรื่องการเตรียมระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าไว้ดังนี้

1. การเตรียมระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับโรงพยาบาล ประเภท 1

1.1 การออกแบบให้ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ที่มีความสำคัญเป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีความขัดข้องจากส่วนประกอบของระบบให้น้อยที่สุด

1.2 ตัวแปรที่มีผลต่อระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ควรพิจารณา คือ

1.2.1 ระดับแรงดันที่เปลี่ยนไปจากปกติ เช่น แรงดันตก และ แรงดันไฟกระชาก

1.2.2 ความเร็วของการเปลี่ยนกลับมารับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟปกติ

1.2.3 การออกแบบเพื่อโหลดไฟฟ้าที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต

1.2.4 ความมั่นคงและความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เพียงพอของระบบ

1.2.5 การตั้งปรับลดโหลดที่กินกำลังไฟสูงออกเพื่อป้องกันโหลดเกินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.2.6 การเตรียมระบบ Bypass สำหรับซ่อมบำรุงโดยที่ไม่กระทบความต่อเนื่องของการจ่ายกำลังไฟฟ้าภายในโรงพยาบาล

1.2.7 ผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์ ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

1.3 จัดให้มีอุปกรณ์ตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า

1.4 การปรับลดโหลดไฟฟ้าที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต้องไม่กระทบต่อวงจรที่จ่ายไฟให้กับระบบหมัก เช่น ระบบไฟส่องสว่างฉุกเฉินของทางหนีภัย อุปกรณ์ในพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง การช่วยชีวิตระบบทำความเย็นของพื้นที่ช่วยชีวิต ระบบปั๊มสุญญากาศในห้องผ่าตัด Jockey pumps ระบบดับเพลิงด้วยน้ำ และระบบการทำงานของอุปกรณ์ที่รองรับการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.5 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงพยาบาลควรมีอย่างน้อย 2 แหล่งจ่าย คือ แหล่งจ่ายไฟปกติ และแหล่งจ่ายไฟสำรองในภาวะที่ระบบปกติขัดข้อง

1.6 ให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับโรงพยาบาล โดยออกแบบให้สามารถรองรับความต้องการไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ

1.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองของโรงพยาบาล หากติดตั้งเพียง 1 ชุด ต้องมีระยะเวลารับประกัน และการตรวจสอบสภาพที่ต่อเนื่อง นานอย่างน้อย 3 ปี

1.8 ห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่ควรอยู่รวมกับอุปกรณ์ หรือห้องเครื่องอื่น ๆ และควรล้อมรอบด้วยผนังทนไฟ 2 ชั่วโมง

1.9 การติดตั้งเครื่องต้องมียะยะ โดยรอบตัวอย่างน้อย 76 เซนติเมตรสำหรับการตรวจสอบ บำรุงรักษา และทำความสะอาด

1.10 การรองรับโหลดไฟฟ้า ให้คิดที่ความต้องการไฟฟ้าสำรองรวมสูงสุดของโหลดที่ออกแบบไว้ เพื่อกำหนดขนาดเครื่องยนต์

1.11 การจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรองต้องสามารถทำได้ภายใน 10 วินาที หลังจากไฟฟ้าปกติดับ และอุณหภูมิแวดล้อมในห้องเครื่องไม่ควรต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

1.12 ระบบระบายอากาศต้องจัดให้เพียงพอต่อการระบายความร้อนและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

2. ระบบการทำงานฉุกเฉินที่ต้องมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง

2.1 วงจรที่เกี่ยวข้องกับระบบการหนีภัย และการช่วยชีวิต ได้แก่

2.1.1 ไฟส่องสว่างเพื่อหนีภัย

2.1.2 ป้ายทางออก และป้ายบอกทาง

2.1.3 สัญญาณแจ้งเตือนภัย เช่น สัญญาณเตือนไฟไหม้ สัญญาณเตือนการรั่วไหลของแก๊สและท่อสุญญากาศ

2.1.4 ระบบการสื่อสารในโรงพยาบาลที่ใช้ในกรณีฉุกเฉิน

2.1.5 ระบบที่รองรับการทำงานองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น ไฟส่องสว่าง เครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่ และเตารับไฟฟ้า

2.1.6 แสงสว่างในตู้ลิฟท์ วงจรควบคุม และวงจรสื่อสาร

2.1.7 ประตูทางเข้า-ออกที่เป็นประตูอัตโนมัติ

2.2 วงจรที่มีความสำคัญด้านการรักษา

2.2.1 ระบบการส่องสว่างของห้องวางยาเสพติด

2.2.2 Isolated power system เช่น ห้องผ่าตัด

2.2.3 ไฟส่องสว่างของห้องพักผู้ป่วยทั่วไป ผู้ป่วยทางจิต ห้องพยาบาลที่ทำหน้าที่ดูแลผู้ป่วย และห้องเตรียมยา

2.2.4 ระบบเรียกพยาบาล

2.2.5 ห้องเก็บโลหิต และเนื้อเยื่อ

2.2.6 ตู้สาขาระบบโทรศัพท์

2.2.7 เติร์ปไฟฟ้าของพื้นที่ต่าง ๆ คือ บริเวณเตียงผู้ป่วย ห้องทดลอง ห้องสวนหัวใจ ที่พักผู้ป่วยโรคหัวใจ ห้องฟอกไต แผนกฉุกเฉิน ห้อง ICU (Intensive Care Units) และห้องพักผู้ป่วยหลังการผ่าตัด

Life Safety Code (NFPA 101)

NFPA 101 เป็นมาตรฐานที่กล่าวเกี่ยวกับการเตรียมโครงสร้างอาคาร งานระบบ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการหนีภัยในกรณีฉุกเฉินของอาคารสิ่งปลูกสร้างทั่วไป และมาตรฐานได้เขียนถึงการเตรียมการจ่ายกำลังไฟฟ้าไว้ดังนี้

1. งานระบบเพื่อรองรับความปลอดภัย

การจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบแจ้งเตือนภัย หรือการแจ้งเตือนการทำงานบกพร่องของระบบอุปกรณ์ ระบบสื่อสารสำหรับกรณีฉุกเฉิน และระบบไฟส่องสว่างของห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีระบบจ่ายไฟสำรองดังที่ระบุไว้ใน NFPA 99

2. ระบบไฟส่องสว่างฉุกเฉิน และระบบจ่ายไฟสำรอง

ห้องวางยาสลบ หรือ เครื่องช่วยชีวิตให้มีระบบจ่ายไฟสำรองดังที่ระบุไว้ใน NFPA 99

Standard for Emergency and Standby Power System (NFPA 110)

NFPA 110 เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงระบบพลังงานสำรอง ที่ใช้รองรับโหลดไฟฟ้ากรณีฉุกเฉิน และโหลดไฟฟ้าทั่วไป โดยเน้นที่ตัวระบบ และอุปกรณ์ มาตรฐานได้กำหนดเรื่อง การระบายอากาศไว้ดังนี้

1. การระบายอากาศในห้องเครื่อง ต้องเพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้อง เป็นไปตามที่ผู้ผลิตกำหนดในสภาวะที่เครื่องทำงานเต็มพิกัด รวมถึงพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น ขณะการทำงาน
2. พิจารณาถึงอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้
3. ช่องเปิดสำหรับอากาศเข้าควรเปิดสู่ภายนอกโดยตรง และมีผนังทนไฟนาน 2 ชั่วโมง ล้อมรอบ
4. ช่องเปิดสำหรับอากาศออกด้านที่ผ่าน Radiator ควรเปิดสู่ภายนอกโดยตรง
5. การไหลของลมจากด้านเข้า สู่ด้านออกของ Radiator ให้มีค่าความดัน Static restriction ไม่เกิน 125 Pa
6. อุณหภูมิแวดล้อมของอากาศภายในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือภายนอกตู้ครอบ กรณีสั่งภายนอกอาคารต้องไม่ต่ำกว่า 4.5 องศาเซลเซียส
7. การออกแบบเพื่อเตรียมระบบระบายอากาศควรพิจารณาถึงเรื่อง ความร้อน อุณหภูมิต่ำ ฝุ่น ความชื้น หิมะ และการสะสมตัวของน้ำแข็งบนตู้ครอบ กรณีมีส่วนที่ตั้งอยู่นอกอาคาร และลมย้อน จากลมที่มาปะทะช่องเปิดด้านระบายอากาศออก

การป้องกันความร้อนจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน

องค์กรความปลอดภัย และอาชีวอนามัย (OSHA) ได้แนะนำแนวทางในการป้องกันความเสี่ยงที่เกิดจากความร้อนในสถานที่ทำงานไว้ดังนี้

1. การปรับปรุงด้านวิศวกรรม

- 1.1 ควบคุมความร้อนจากแหล่งกำเนิด ด้วยการหุ้มฉนวน หรือทำแนวผนังกัน
- 1.2 ระบายความร้อนออกจากบริเวณนั้น ๆ
- 1.3 ควบคุมความร้อน และความชื้นด้วยระบบปรับอากาศ
- 1.4 เพิ่มการไหลของอากาศในบริเวณด้วยพัดลมระบายอากาศ เป็นต้น
- 1.5 ลดการใช้งานอุปกรณ์ในพื้นที่ที่มีความร้อน และต้องควบคุมการปฏิบัติงานด้วยคน

2. การควบคุมที่บุคลากร

- 2.1 พนักงานควรหมั่นตรวจอุณหภูมิในบริเวณที่ทำงานอยู่เสมอ
- 2.2 วางแผนระยะเวลาการทำงานในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำของวัน
- 2.3 ตรวจร่างกายของพนักงานว่าอยู่ในภาวะปกติหรือไม่
- 2.4 อบรม และให้ความรู้เรื่องสัญญาณเตือน และการดูแลเพื่อนร่วมงาน
- 2.5 เตรียมแผนฉุกเฉินเพื่อปฐมพยาบาลผู้ป่วย

3. การใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

3.1 สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีสะท้อนแสง เพื่อประโยชน์ในการช่วยเหลือ

3.2 พิจารณาเนื้อผ้าที่สวมใส่ให้เหมาะสมกับความร้อนของงาน

3.3 ใส่ชุดป้องกันความร้อนในที่ที่มีความร้อน

นอกจากการป้องกันตามการแนะนำของ OSHA แล้ว ในประเทศไทยมีประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2519 เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับความร้อนคือ ให้มีการติดประกาศเตือนในแหล่งที่มีความร้อนสูงที่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และให้นายจ้างจัดชุดแต่งกาย รองเท้า และถุงมือสำหรับป้องกันความร้อน ให้ลูกจ้างที่ทำงานในบริเวณที่มีความร้อนสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส

ในประเทศแถบตะวันออกกลางมีกฎหมายป้องกันความเสี่ยง จากความร้อนในขณะทำงานกลางแจ้ง เช่น ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ห้ามทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 44.5 องศาเซลเซียส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน คือ

1.1 Standby rating ใช้กับโหลดที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาเป็นช่วง ๆ ได้ เหมาะสมกับการเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองของอาคารสำนักงาน อาคารแหล่งบริการทั่วไป และมีข้อจำกัดทางการใช้งานคือ

1.1.1 ปริมาณโหลดแฟคเตอร์ ไม่เกิน 60 %

1.1.2 จำนวนชั่วโมงที่ทำงานต่อปี ไม่เกิน 500 ชม.

1.1.3 ประสิทธิภาพการจ่ายโหลดต่อเนื่องได้ 80% และจ่ายโหลดฉุกเฉินได้ 100% ของพิกัด

1.2 Prime rating ใช้กับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้ เหมาะสมกับการเป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองของโรงงานอุตสาหกรรม งานก่อสร้าง และ Cogenerator

1.2.1 ปริมาณโหลดแฟคเตอร์ ไม่เกิน 70%

1.2.2 จำนวนชั่วโมงที่ทำงานต่อปี ไม่จำกัด

1.2.3 ประสิทธิภาพการจ่ายโหลด ได้ตามพิกัด 100% เป็นช่วงเวลา และสามารถจ่ายโหลดเกินได้ที่ 110 % ในเวลาจำกัด

1.3 Continuous rating ใช้กับโหลดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงบ่อย ๆ เหมาะสมกับการเป็นแหล่งจ่ายไฟหลัก ระบบจ่ายไฟชุมชน และ Cogenerator

1.3.1 ปริมาณโหลดแฟคเตอร์ ไม่เกิน 100%

1.3.2 จำนวนชั่วโมงที่ทำงานต่อปี ไม่จำกัด

1.3.3 ประสิทธิภาพการจ่ายโหลดต่อเนื่องได้ 100%

2. ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญในการทำงาน ดังนี้

2.1 ระบบติดเครื่อง (Starting system) มี 2 แบบ คือ แบบใช้ไฟฟ้าและแบบใช้แรงดันลม การจะเลือกใช้แบบใดขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องยนต์, เนื้อที่ในการติดตั้ง และสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิห้อง

2.2 ระบบอากาศไอดี (Air intake system) เครื่องยนต์ดีเซลต้องการอากาศประมาณ 1.84 ลูกบาศก์ฟุต ต่อนาที ต่อ 1 แรงม้า สำหรับการเผาไหม้ อากาศที่จะเข้าเผาไหม้ในเครื่องยนต์ ซึ่งต้องสะอาด และเย็น หม้อกรองอากาศแบบแห้ง และติดกับตัวเครื่อง มีประสิทธิภาพดีกว่า หม้อกรองแบบน้ำมันมาก จึงเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน

2.3 ระบบไอเสีย (Exhaust system) ระบบนี้จะทำหน้าที่รวบรวมไอเสียจากกระบอกสูบและส่งออกสู่ภายนอกด้วยความเร็ว การออกแบบ จึงต้องคำนึงถึงแรงดัน Back pressure ที่ควรมีค่าน้อย เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่อง กำลังตก และอุณหภูมิไอเสียสูงในขณะใช้งาน ระบบไอเสียมีส่วนประกอบต่างๆ คือ ท่อไอเสียรวม ท่อไอเสีย หม้อพักท่อไอเสีย ขี้อ่อนท่อไอเสีย ฉนวนกันความร้อน และอุปกรณ์จับยึด

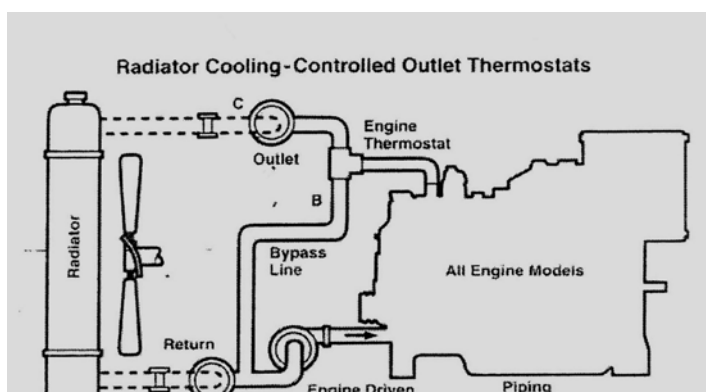
2.4 ระบบเชื้อเพลิง (Fuel system) ระบบนี้มีไว้เพื่อป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงที่สะอาดให้แก่เครื่องยนต์ โดยจะมีปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงที่ขับเคลื่อนด้วยตัวเองติดตั้งอยู่ที่ตัวเครื่อง เพื่อสูบน้ำมันจากท่อส่งน้ำมัน ไปเลี้ยงหัวฉีด และส่งน้ำมันที่เหลือไปยังท่อส่งกลับน้ำมัน ระบบน้ำมันประกอบด้วย อุปกรณ์ กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ตัวหล่อเย็นเชื้อเพลิง ถึงใช้งาน ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง และถังเก็บน้ำมันใหญ่

2.5 ระบบน้ำมันหล่อลื่น (Lube oil system) ระบบนี้จะทำหน้าที่นำน้ำมันหล่อลื่นไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์

2.6 ระบบระบายความร้อน (Cooling system) โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว 20% ถึง 40% ของพลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ จะเปลี่ยนเป็นความร้อน ผ่านทางระบบระบายความร้อนพื้นฐาน 4 ระบบ ได้แก่ After cooler Oil Cooler Fuel Cooler และวงจรน้ำหล่อเสียดที่ใช้นำความร้อนออกจากเครื่องยนต์

อุปกรณ์ระบายความร้อน จากเครื่องยนต์นั้นมี 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.6.1 แบบรังผึ้ง (Radiator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายเทความร้อน ของน้ำร้อนจากเครื่องยนต์ไปสู่บรรยากาศโดยตรง ซึ่งอาศัยหลักการให้น้ำร้อน วิ่งผ่านท่อเล็ก ๆ ที่มีครีบริบายติดอยู่ภายนอก จากนั้นอาศัยพัดลมเป่าอากาศเย็นผ่านครีบริบาย วิธีการติดตั้งรังผึ้ง มี 2 วิธีด้วยกันคือ แบบติดตั้งมาพร้อมกับตัวเครื่อง ใบพัดของพัดลมจะใช้แรงขับจากเครื่องยนต์โดยตรง และแบบติดตั้งห่างจากตัวเครื่อง ใบพัดของพัดลมจะต้องใช้แรงขับช่วยจากมอเตอร์ไฟฟ้า



ภาพที่ 8 รังผึ้งที่ติดตั้งมาพร้อมกับตัวเครื่อง

ที่มา: Caterpillar (2002)

2.6.2 แบบตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายเทความร้อน ของน้ำร้อนจากเครื่องยนต์ วิ่งผ่านภายในท่อเล็ก ๆ ไปยังของเหลวที่เย็นอีกชนิดหนึ่งที่วิ่งผ่านผิวของท่อ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างกัน

2.7 ตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator or Alternator) เป็นชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าผลิตตามมาตรฐานสากล ที่ใช้กันแพร่หลายคือ National Electrical Manufacturers Association (NEMA)

2.8 ระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator control system) ใช้ในการควบคุมการทำงาน และแสดงสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ควบคู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. ความร้อนจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.1 แหล่งกำเนิดความร้อน เครื่องยนต์ดีเซลที่นำมาใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไป 100% จะมีสัดส่วนการเปลี่ยนรูปพลังงานโดยประมาณ คือ พลังงานกล 44% พลังงานความร้อน 56% ซึ่งพลังงานความร้อนเป็นผลรวมจากส่วนต่าง ๆ คือ

$$\text{พลังงานความร้อน} = Q_{\text{EXH}} + Q_{\text{SUR}} + Q_{\text{JW}} + Q_{\text{OC}} + Q_{\text{AC}} \quad (19)$$

โดยที่ Q_{EXH} = ความร้อนจากไอเสีย ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกลดอุณหภูมิลงก่อนปล่อยไปในสภาพแวดล้อม

Q_{SUR} = ความร้อนที่สูญเสียไปสู่สภาพแวดล้อม หรือความร้อนที่ปล่อยออกมาจากผิวของเครื่องยนต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน

Q_{JW} = ความร้อนจาก Jacket water คือความร้อนที่เครื่องยนต์ถ่ายเทไปสู่ น้ำหล่อเย็น โดยทั่วไปอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นด้านเข้า และออกจากรังผึ้งจะแตกต่างกันไม่เกิน 11 องศาเซลเซียส ที่การทำงานเต็มกำลัง

Q_{OC} = ความร้อนจากน้ำมันหล่อเย็นที่เป็นส่วนหนึ่งของการระบายความร้อนใน Jacket water โดยเป็นส่วนที่ฉีดหล่อเย็นด้านล่างของกระบอกสูบ

Q_{AC} = ความร้อนจาก After cooler เป็นการระบายความร้อนเพิ่มขึ้นในกรณีที่อุณหภูมิด้านลมออกของเทอร์โบชาร์จเจอร์ สูงกว่าระดับที่ตั้งไว้

3.2 ข้อมูลความร้อนจากผู้ผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า Standby rating แรงดัน 400/230 Volt 50Hz 1500 รอบต่อนาที ขนาด 2000 kVA มีข้อมูลทางเทคนิคดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

DESCRIPTIONS	STANDBY RATING
Heat rejection to coolant	460 kW
Heat rejection to aftercooler coolant	405 kW
Heat rejection to exhaust	1195 kW
Heat rejection to atmosphere from engine	160 kW
Heat rejection to atmosphere from alternator	63.58 kW
Radiator cooling air	1584 m ³ /min
Alternator cooling air	250 m ³ /min
Ambient air temperature	50 °C
Dimension: Length	5780 mm
Dimension: Width	2286 mm
Dimension: Height	2590 mm

ที่มา: Cummins (2004) and Caterpillar (2002)

4. การระบายความร้อนของเรดิเอเตอร์

ขนาดของเรดิเอเตอร์โดยปกติจะออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากกว่าค่าการระบายความร้อนจริง 10 % เพื่อป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่โหลดสูงกว่าปกติ และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์

ขนาดของพัดลมที่อยู่ในชุดระบายความร้อนเรดิเอเตอร์จะดึงกำลังจากเครื่องยนต์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประมาณ 3-8 % ของกำลังที่เครื่องยนต์ทำได้

4.1 ข้อมูลพัดลมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า Standby rating ขนาด 2000 kVA

พัดลมที่ใช้สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นประเภท Axial fan ชนิด Propeller ซึ่งมีรูปแบบการไหลของลมตามแนวแกน สามารถผลิตลมได้ปริมาณมาก ที่ความดันสถิตของพัดลมต่ำมีความเร็วลมตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 คือ $1584 \text{ m}^3/\text{min}$ พัดลมดังกล่าวมีค่า Total Pressure 875 Pa ซึ่งดูได้จาก Fan curve ที่แสดงในภาคผนวก ก



ภาพที่ 9 พัดลม Propeller

ที่มา: Soler and Palau Canada (2006)

การระบายอากาศในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การออกแบบห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรพิจารณาถึง เรื่อง การระบายอากาศ อุณหภูมิ แวลวล้อม การป้องกันฝุ่น ทราช ฝน จากสภาพอากาศ การเคลื่อนย้ายเพื่อซ่อมบำรุง นอกจากนี้ ยังมีเรื่องเสียงรบกวน และความร้อนที่เกิดจากการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สิ่งเหล่านี้ต่างมีผลกระทบโดยตรงต่อเครื่องยนต์ และผู้ปฏิบัติงานภายในห้อง

ทั้งนี้ จะให้ความสำคัญในเรื่องที่เกี่ยวกับการระบายอากาศภายในห้อง เนื่องจากเป็นปัจจัยในการพาความร้อนออกไปจากเครื่องยนต์ การระบายอากาศที่ไม่เพียงพอเป็นสาเหตุให้มีการสะสมอุณหภูมิรอบๆ ตัวเครื่อง และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าลดลง

1. ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการระบายอากาศ

1.1 ความเร็วลม นอกจากการควบคุมอุณหภูมิอากาศแล้วความเร็วลมยังมีผลต่องานและการเกิดสภาวะต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 3 สภาวะที่เกิดจากความเร็วลม

ความเร็วลม (m/s)	กิจกรรม หรือ สภาวะที่เกิดขึ้น
0.25	สำนึกงาน
0.51	โรงงาน และ การยื่นทำงาน
0.76	ทำให้เกิดฝุ่นฟุ้งกระจายในอากาศ
1.02	เกิดการไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง
5.10-10.17	ทำให้เกิดลมหมุน
6.60	ลมจะพาละอองฝนเข้ามาในห้องได้

ที่มา: Caterpillar (2002)

ความเร็วลมที่เหมาะสมของการไหลภายในห้องเครื่องอยู่ที่ 2.5-3.6 เมตร/วินาที (Cummins: 2004)

1.2 ช่องเปิด ช่องเปิดด้านลมเข้าจะต้องมีขนาดเพียงพอต่อการนำอากาศเย็นมาพาความร้อนออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และควรอยู่ในระดับต่ำใกล้กับหน้าเครื่อง ส่วนช่องเปิดด้านลมออกควรอยู่ในระดับสูงบนผนังฝั่งตรงกับข้ามกับด้านลมเข้า

ห้องเครื่องที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสองชุดขึ้นไป ควรจัดช่องเปิดหรือพัดลมเพิ่มตามความเหมาะสมและรายการคำนวณ

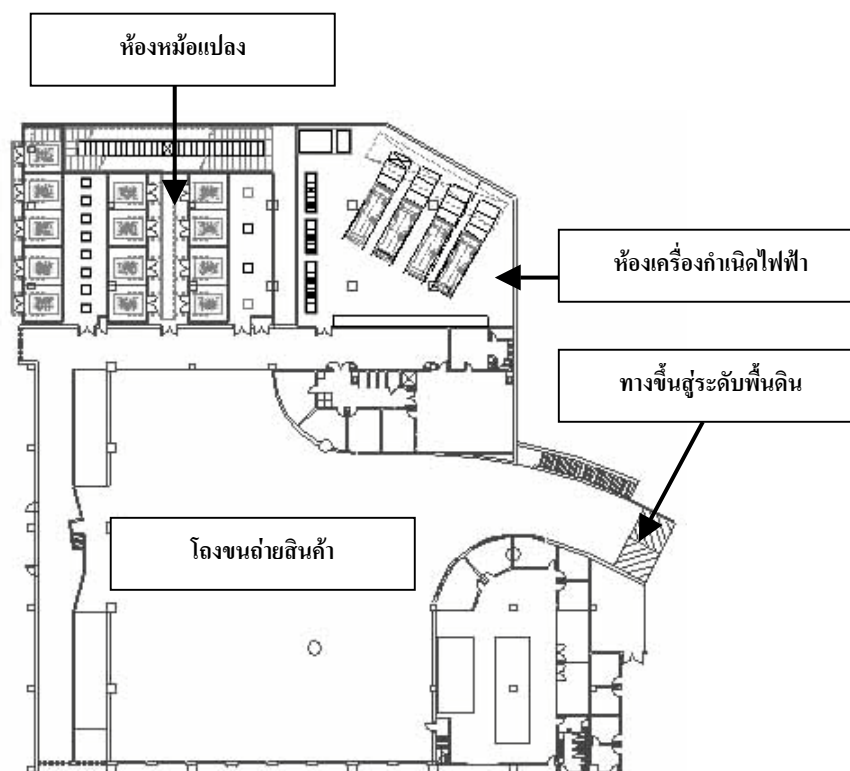
1.3 การลดระดับเสียงรบกวน อุปกรณ์ที่ใช้ครอบช่องเปิดเพื่อลดเสียงรบกวนจะมีผลให้ลมผ่านเข้า-ออก ได้น้อยลง ดังนั้นในการคำนวณต้องคิดขนาดช่องเปิดเพิ่ม ตามอัตราส่วนของเปอร์เซ็นต์ลม ที่สามารถผ่านอุปกรณ์ลดเสียงรบกวนรวมไปด้วย

1.4 อุณหภูมิ การระบายอากาศภายในห้องเครื่องควรทำให้อุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ยภายในห้องไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ในขณะที่เดินเครื่อง (Cummins: 2004)

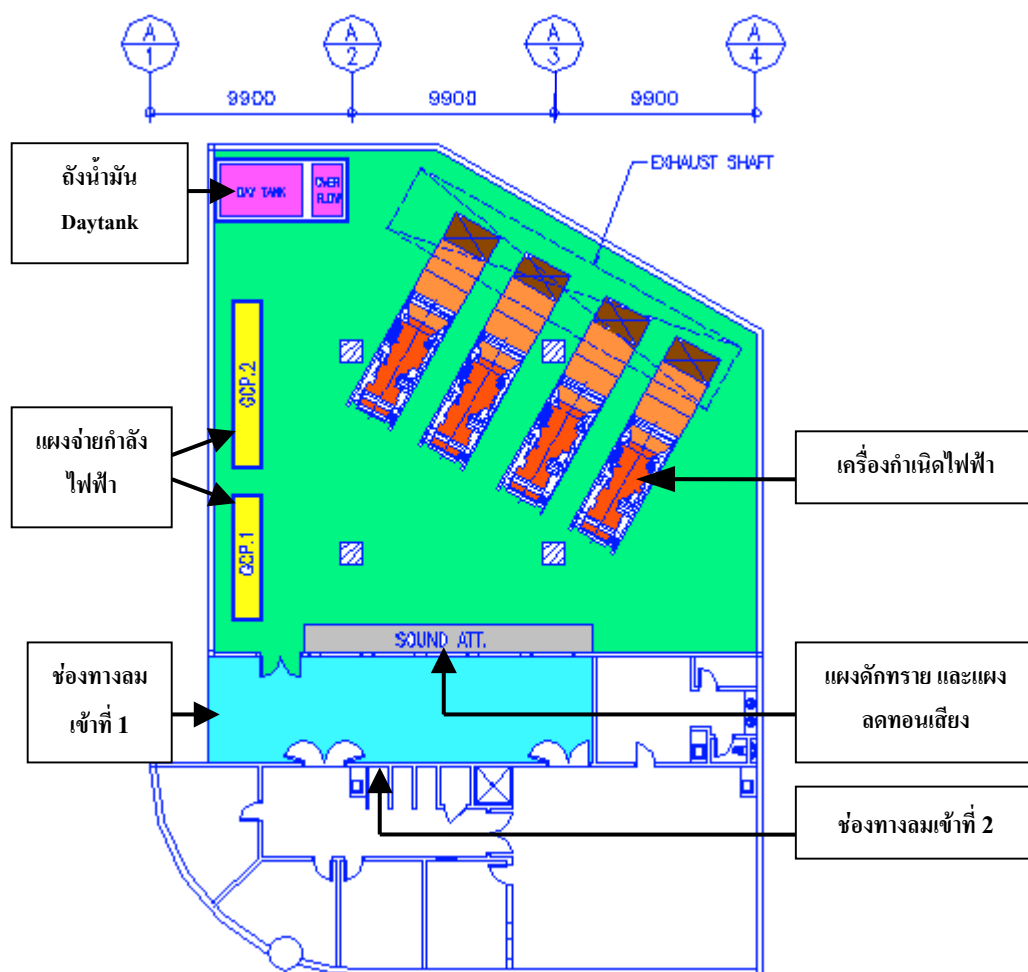
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด Standby Rating และ Prime rating มีประสิทธิภาพลดลง 11.6 % (Cummins: 2004)

2. แบบกรณีศึกษาห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชั้นใต้ดิน

ห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโครงการ โรงพยาบาลแห่งใหม่ของประเทศกาดาร์ ปัจจุบันอยู่ในขั้นตอนการออกแบบรายละเอียดขั้นสุดท้าย ซึ่งมีแผนผังดังที่แสดงในภาพที่ 10 และ ภาพที่ 11



ภาพที่ 10 แผนผังห้องกำเนิดไฟฟ้าชั้นใต้ดินและพื้นที่โดยรอบ



พื้นที่ห้อง : 481.50 ตารางเมตร

พื้นที่โถงหน้าห้อง : 83.60 ตารางเมตร

ความสูงของห้อง : 4.90 เมตร

พื้นที่ช่องเปิดที่มีแผงดักทราย และแผงลดทอนเสียง : 63.00 ตารางเมตร

ภาพที่ 11 แผนผังห้องกำเนิดไฟฟ้าชั้นใต้ดิน

จากภาพที่ 11 ช่องทางลมเข้าสู่ภายในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะต้องผ่านเข้าทางช่องลมเข้าที่ 1 และช่องลมเข้าที่ 2 ก่อนจึงจะผ่านแผงดักทราย และแผงลดทอนเสียงเข้าสู่ภายในห้อง

โปรแกรมช่วยการคำนวณ และวิเคราะห์

1. โปรแกรมสำเร็จรูป Solidworks 2004

โปรแกรมสำเร็จรูป Solidworks เป็นโปรแกรมออกแบบเครื่องกลอัตโนมัติ 3 มิติ ใช้งานร่วมกับ Microsoft Windows ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถถ่ายทอดความคิดของตนเอง ออกสู่ภาพร่างได้อย่างรวดเร็วรวมทั้งสามารถกำหนดขนาดการทดลองสร้างแบบจำลอง และกำหนดโครงร่างรายละเอียดได้ ทั้งนี้ การคำนวณ และการแสดงผลของโปรแกรมนี้อาจทำงานร่วมกับโปรแกรม CosmosFlowworks

2. โปรแกรมสำเร็จรูป CosmosFlowworks 2004

โปรแกรมมีฟังก์ชันการทำงานโดยการ Add in ชิ้นงานจากโปรแกรมสำเร็จรูป Solidworks หลังจากวาดรูปชิ้นงานด้วยโปรแกรม SolidWorks แล้วจึงใช้ CosmosFlowworks ในการคำนวณค่าตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ และแสดงผลในรูปแบบ 3 มิติ

CosmosFlowworks เป็นโปรแกรมที่ใช้หลักการคำนวณแบบ CFD ซึ่งครอบคลุมถึงการวิเคราะห์การไหลในสถานะ และรูปแบบต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. สามารถวิเคราะห์การไหลได้ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ
2. การไหลผ่านด้านนอกของวัตถุ และการไหลภายในวัตถุ
3. การไหลในสถานะคงที่ และ สถานะไม่คงที่
4. ของเหลวที่ไม่มีการอัดตัว และแก๊สที่อัดตัวได้รวมถึง subsonic transonic และ supersonic
5. Non-Newtonian liquids เฉพาะการไหลแบบราบเรียบ
6. ของเหลวที่อัดตัวได้ (การอัดตัวที่เป็นผลมาจากความดัน)

7. การไหลแบบราบเรียบ และการไหลแบบปั่นป่วน
8. การไหลแบบบังคับผ่านพัลลม รวมทั้ง Swirling Flows
9. Multi-species flows
10. การไหลที่มีการถ่ายเทความร้อนภายในของไหลหรือของแข็งและการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและของแข็ง
11. การแผ่รังสีความร้อนระหว่างพื้นผิว
12. การไหลที่มีผลจากแรงโน้มถ่วง
13. การไหลผ่านวัสดุพรุน
14. การไหลของของไหลที่มีหยดน้ำหรืออนุภาคของของแข็ง
15. ความหยาบหรือเรียบของผนัง
16. ผนังที่เคลื่อนที่หรือหมุนได้
17. การไหลในภาชนะที่หมุนตัวได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Loh and Chou (2004) ทำการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบความดันตกที่เกิดขึ้นจากการไหลของอากาศผ่าน Heat sink โดยเปรียบเทียบผลจากการคำนวณตามทฤษฎี ซึ่งได้แก่ สมการความดันตกของ Flemings and Darcy การใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหลแบบสามมิติ Flotherm และการวัดค่าจากการทดลอง Heat sink ดันแบบที่ใช้ในการทดลองมีขนาดที่แตกต่างกัน 4 แบบ และทำการทดลองในอุโมงค์ลม ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความดันตกจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง ในขณะที่การคำนวณจากสมการได้ค่าความดันที่ต่ำกว่าผลการทดลอง 1 ถึง 4 เท่า ที่ความเร็วลม 1 m/s ถึง 5.5 m/s

Yu and Joshi (2000) ทำการทดลองการพาความร้อนของอากาศในพื้นที่ปิดที่มีช่องระบายอากาศอยู่ด้านบน โดยมีวัตถุประสงค์กำหนดความร้อนวางอยู่ภายใน ผลจากการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิหลาย ๆ ตำแหน่งในพื้นที่ปิด มีค่าใกล้เคียงกับการใช้โปรแกรมแบบ CFD ในการคำนวณผล

Hu et al. (2005) ทดลองการระบายควันไฟออกจากทางเดินชั้นใต้ดิน โดยทำการวิเคราะห์ตั้งแต่การเริ่มเกิดควันจากต้นเพลิง ตรวจสอบเวลาการตรวจจับควัน จนถึงอุณหภูมิของแต่ละตำแหน่งที่แปรตามระยะห่างของช่องเปิดและพัดลม อุโมงค์มีความยาว 96 ม. กว้าง 8 เมตร และสูง 3.3 ม. มีช่องเปิดอากาศเข้าที่ปลายผนังทั้งสองด้านของอุโมงค์ และมีพัดลมระบายควัน 2 ชุด ติดที่ฝ้าเพดาน ผลการทดลองพบว่าที่ระยะ 40 ม. จากแหล่งต้นเพลิงจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นๆ การมีช่องเปิดลมเข้าใกล้กับพัดลมดูดควัน จะทำให้การระบายควันออกมีประสิทธิภาพต่ำหรือระบายได้ช้า เกิดจากอากาศไหลตรงจากทางเข้าสู่พัดลมที่ดูดอากาศออก และแนะนำให้เปิดพัดลมดูดควันตำแหน่งที่ใกล้กับแหล่งต้นเพลิง และจ่ายลมเข้าที่ระยะไกลออกไป

Yeh (2002) ใช้โปรแกรมแบบ CFD ประเมินค่าการระบายความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในกล่องที่มีพัดลมเป็นตัวดูดอากาศออกมา เนื่องจากผู้ทดลองต้องการทราบว่าการติดตั้งพัดลมที่ตำแหน่งเดียว จะเพียงพอที่จะลดความร้อนที่ผิวของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ติดไกลออกไปได้หรือไม่ โดยให้การหมุนเวียนของอากาศในระบบเป็นแบบสภาวะคงที่ (Steady state condition) และผลการคำนวณจาก CFD พบว่ามีอุปกรณ์ที่อยู่ในตำแหน่งไกลจากพัดลมมีความร้อนสะสมที่ผิวสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก ตามที่ตั้งสมมติฐานไว้

Wong et al. (2005) ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงระบบระบายอากาศตามธรรมชาติของอาคารศูนย์อาหารในประเทศสิงคโปร์ เป็นอาคารชั้นเดียว ยาว 55.5 ม. กว้าง 22.4 ม. สูง 12 ม. โดยใช้โปรแกรมการคำนวณแบบ CFD จำลองโมเดล 4 ลักษณะคือ แบบเดิมที่มีการระบายอากาศตามธรรมชาติ แบบติดตั้งพัดลมบนเพดาน แบบติดตั้งพัดลมที่ผนัง และแบบติดตั้งพัดลมดูดอากาศบนหลังคา ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมแสดงความเร็วลมและอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันคือพัดลมดูดอากาศมีประสิทธิภาพดีที่สุดด้านการระบายความร้อน และความเร็วของการระบายอากาศออกจากอาคาร แต่ถ้าคำนึงถึงสภาวะความเร็วลมที่เหมาะสมกับคนที่อยู่ในอาคาร การติดตั้งพัดลมที่ผนังจะช่วยให้การไหลเวียนของอากาศที่ระดับการใช้งานได้ดีกว่า

Raghavan and Rahman (1996) ศึกษา Transient response ของกรณีศึกษาการนำความร้อนบนแผ่นท่อลงที่มีตัวกำเนิดความร้อนวางอยู่ และมีอากาศไหลผ่านเป็นตัวพาความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิ โดยทำการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิที่พื้นผิวของส่วนต่างๆด้วยสมการ อนุกรมมวลและโมเมนตัม และพลังงานที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการวิเคราะห์ ได้แก่ ตัวแปรไร้มิติ Richardson number, Reynolds number, Fourier number, prandtl number ระยะห่างของตัวกำเนิดความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ผลการวิเคราะห์แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว และระยะเวลาที่เกิด Transient ของอุณหภูมิ

Bordalo and Saboya (1999) ทำการทดลองเพื่อหาสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากความดันลดของอากาศที่ไหลผ่านท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (Tube Heat Exchangers) ในลักษณะของการวางท่อที่แตกต่างกัน คือ รูปทรงแบบวงรี และท่อทรงกระบอกกลม โดยวางแนวท่อขวางทิศลมปะทะ 1 แถว 2 แถว และ 3 แถว การทดลองวัดค่าความดันของอากาศตามแนวยาวของท่อ แล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การสูญเสียต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ในช่วง 200 ถึง 1900 จากผลการทดลองที่ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์น้อยกว่า 1000 ค่าความดันลดของอากาศที่ไหลผ่านท่อกลมจะน้อยกว่าท่อทรงวงรี แต่จะได้ผลตรงกันข้ามที่ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์มากกว่า 1000 และการเพิ่มระยะห่างระหว่างท่อจะทำให้ค่าความดันลดน้อยลง

Vibhor et al. (2003) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายความร้อนด้วยอากาศของ Heat exchangers ในอุตสาหกรรมแก๊ส LNG กรณีทำแก๊สกันลมด้านข้างแบบตั้งกับแบบระนาบ โดยใช้โปรแกรมการคำนวณแบบ CFD จำลองรูปแบบการไหลของอากาศ เพื่อหารูปแบบที่ทำให้มีลมย้อนกลับจากด้านลมออกลงมาสู่ด้านลมเข้าน้อยที่สุด การคำนวณได้กำหนดขอบเขตการไหลคือ ให้กระแสนลมธรรมชาติเป็น Velocity inlet พัดลมด้านดูดอากาศเป็น Pressure inlet และด้านเป่าอากาศออกเป็น Pressure outlet โดยค่าความดันลดของอากาศที่ผ่านพัดลมคำนวณจาก Fan curve และ ค่า Pressure drop ของผู้ผลิต ผลการวิเคราะห์จากรูปแบบการไหลของอากาศสรุปได้ว่าการทำแก๊สกันลมในแนวระนาบ สามารถป้องกันลมย้อนกลับได้ดีกว่าแก๊สกันลมในแนวตั้ง

สุรสิทธิ์ (2547) ศึกษาการออกแบบอุปกรณ์ที่พิกทำป็นเสาไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยจากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชิ้นงานเมื่อถูกแรงกระทำ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SolidWorks และ Cosmos ช่วยในการคำนวณและแสดงผล

ธงชัย (2548) ศึกษาการระบายอากาศในอุโมงค์ร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในอุโมงค์โดยวิเคราะห์ การนำความร้อนของสายไฟฟ้า และการพาความร้อนของอากาศที่ถูกบังคับการไหลด้วยพัดลมระบายอากาศ โดยใช้ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป MATLAB ช่วยในการคำนวณและแสดงผล